



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU



Fakultet
elektrotehnike i
računarstva

Diplomski studij

Računarstvo

Znanost o mrežama

Programsko inženjerstvo i informacijski
sustavi

Računalno inženjerstvo

Informacijska i komunikacijska tehnologija

Automatika i robotika

Informacijsko i komunikacijsko inženjerstvo

Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Audiotehnologije i elektroakustika

Elektroenergetika

(Izborni predmet profila)

Internet stvari

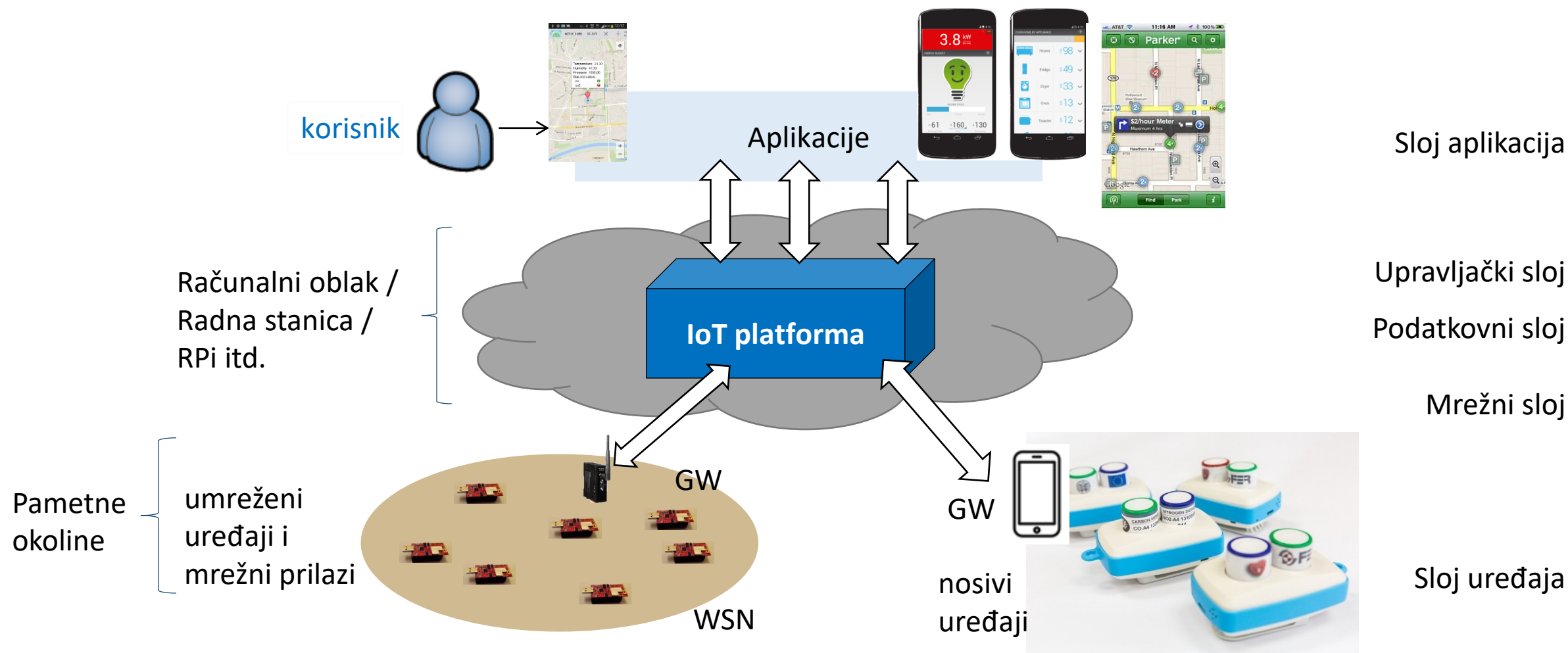
8. IoT-platforme: značajke,
komponente, arhitektura, primjeri
platformi u računalnom oblaku

Ak. god. 2022./2023.

Sadržaj

- Programske platforme za IoT
- IoT-platforme u računalnom oblaku
- Nužne funkcionalnosti IoT-platformi
- Najpoznatije Cloud-platforme

Pojednostavljena arhitektura Interneta stvari



Programska platforma za IoT

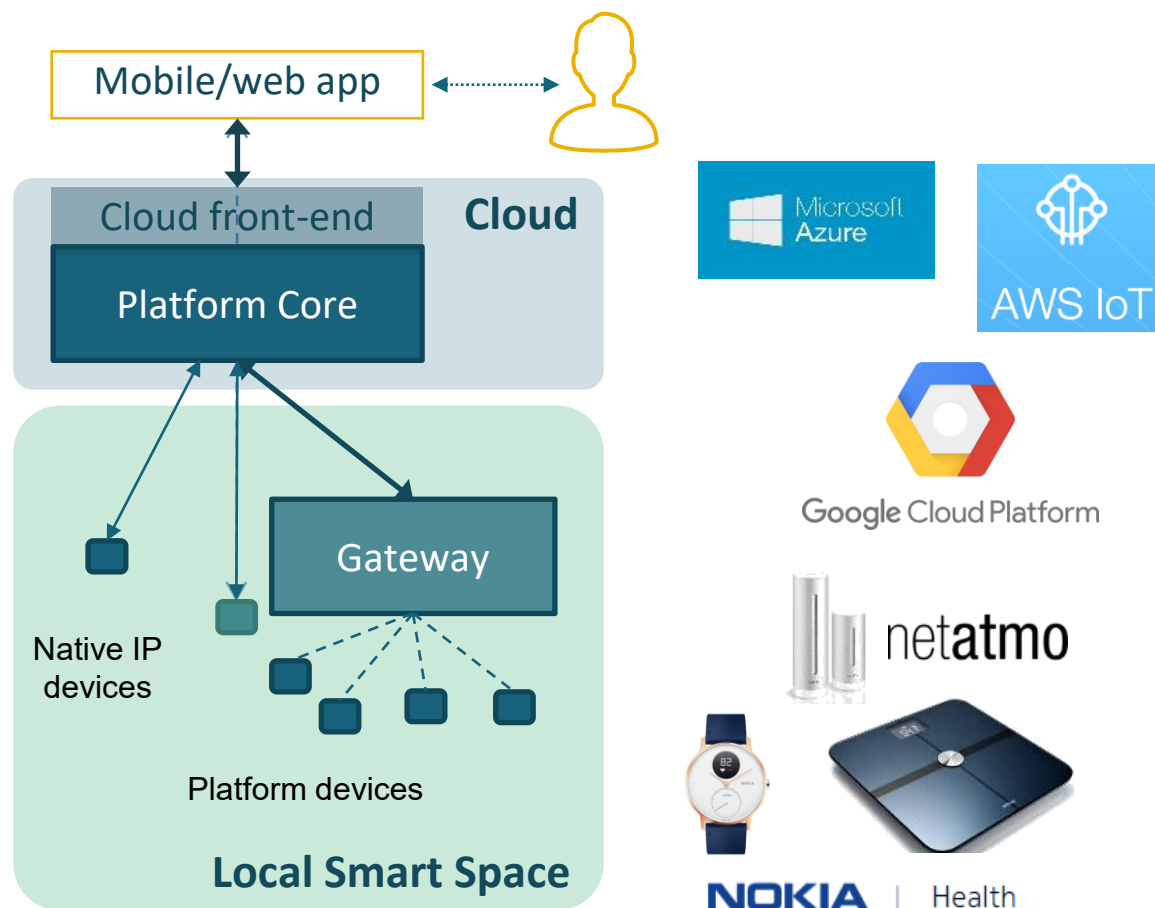
IoT-platforma

- Omogućuje povezivanje i upravljanje umreženim uređajima postavljenim u „pametnim okolinama”
- Održava kontinuirano podatke o stanju uređaja
- Prikuplja senzorska očitavanja (ako je riječ o senzorima) s umreženih uređaja te omogućuje obradu prikupljenih podataka
- Omogućuje slanje naredbi aktuatorima
- Uređaji postaju dostupni i vidljivi za razvoj korisničkih aplikacija

- Nudi tri osnovna skupa funkcionalnosti:
 - prikupljanje i pohrana podataka s umreženih uređaja
 - upravljanje uređajima i njihovim konekcijama (podržava ograničeni skup protokola, npr. HTTP, MQTT)
 - omogućuje razvoj IoT-aplikacija za krajnje korisnike (mobilne i web)

Prema: Boston Consulting Group. [Who Will Win the IoT Platform Wars?](#) 29.10.2017.

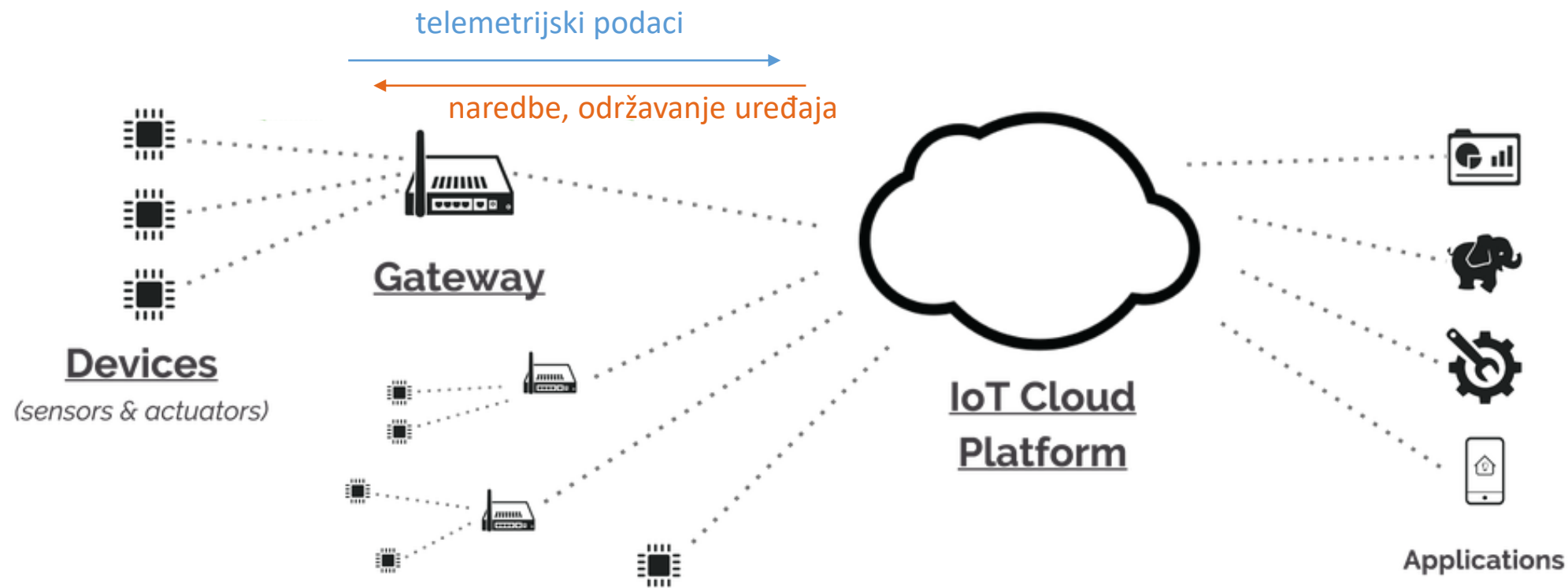
IoT-platforma u računalnom oblaku



Virtualni entitet na nivou računalnog oblaka predstavlja stvarni uređaj

- platforma održava **metapodatke** o uređajima
- pohranjuje senzorska očitavanja, stanja aktuatora, obrađuje podatke
- vizualizira prikupljene podatke, stanje uređaja, itd.
- mobilne/web aplikacije koriste REST-sučelje platforme za pristup uređajima (platforma je posrednik u toj interakciji)

IoT Architecture (prema eclipse.org)



Izvor: Eclipse.org whitepaper [1]

Projekti otvorenog kôda: <https://iot.eclipse.org/projects/>

Računalni oblak (*podsjetnik*)

- Računalni sustav u kojem se koriste udaljeni poslužitelji putem Interneta, umjesto lokalnih računalnih resursa, za usluge pohrane, obrade i upravljanja podacima
- Računarstvo u oblaku je model koji na sveprisutan i praktičan način omogućava mrežni pristup dijeljenoj grupi računalnih resursa (primjerice mreži, poslužiteljima, prostoru za pohranu, uslugama) koji se mogu brzo modificirati s minimalnim radom ili interakcijom samog pružatelja usluge
- Arhitektura: virtualizirani grozd računala koja se nalaze u jednom ili više podatkovnih centara
- Svrha računalnog oblaka je pružati računalne resurse i usluge na zahtjev (*on demand*)
- Model naplate: plati onoliko koliko koristiš (npr. mogućnost unajmljivanja x instanci virtualnih računala definirane konfiguracije i OS-a, naplata po satu korištenja)
- Omogućuje fleksibilno korištenje resursa: prilagodba potrebama korisnika

Fleksibilno korišćenje računalnih resursa u oblaku

- Mogućnost pokretanja i gašenja virtualnih strojeva po potrebi te rekonfiguracija resursa koji su im dodijeljeni omogućuje fleksibilnost korišćenja
- Primjeri
 - frekvencija korisničkih zahtjeva smanjena/povećana -> smanjiti/povećati broj virtualnih strojeva koji ih poslužuju
 - ili -> rekonfigurirati virtualni stroj te mu dodijeliti više fizičkih resursa
- privid neograničenih računalnih resursa u “oblaku” koji se mogu pridijeliti pojedinoj usluzi
- okolina za pružanje skalabilnih i elastičnih usluga
 - **elastičnost:** sredstva se mogu po potrebi osigurati i osloboditi, u nekim slučajevima automatski, za brzo skaliranje prema gore i dolje u skladu s opterećenjem

Modeli usluga računalnog oblaka

- Software as a Service (SaaS)
 - korištenje aplikacija koje se izvode na infrastrukturi oblaka
 - npr. GMail, Google Docs, Dropbox, Salesforce CRM, Impel CRM, Oracle On Demand, SQL Azure, ...
- Infrastructure as a Service (IaaS)
 - unajmljivanje virtualnih strojeva, zakupljivanje podatkovnog prostora i ostalih računalnih resursa
 - npr. Amazon Elastic Compute Cloud (AWS/EC2/S3), DigitalOcean, MS Azure, Google Compute Engine, ...
- **Platform as a Service (PaaS)**
 - nudi infrastrukturu i razvojnu okolinu za razvoj korisničkih aplikacija u oblaku (korisnik/programer nema kontrolu nad OS-om, korištenom bazom podataka, programskim jezikom...)
 - npr. Google AppEngine, Windows Azure Platform, Amazon EKS, ...

Modeli usluga

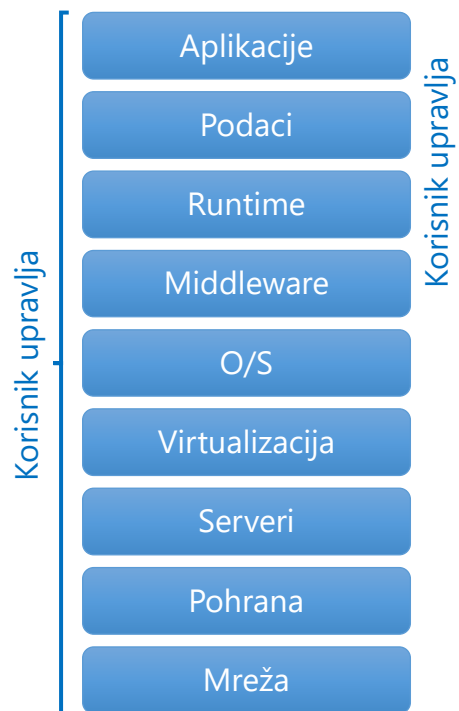
Izvor:
Microsoft

Migrirajte!



IaaS

(Infrastruktura kao usluga)



Razvijajte!



PaaS

(Platforma kao usluga)

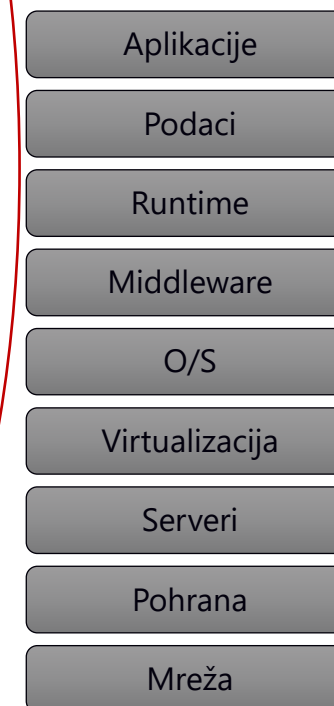


Koristite!



SaaS

(Softver kao usluga)



PaaS: najčešći model IoT-platформи

- Nudi se platforma (infrastruktura i razvojna okolina) za umrežavanje uređaja, pohranu podataka i upravljanje uređajima te razvoj korisničkih aplikacija
 - Korisnik je programer (razvijatelj) IoT-rješenja, prilagođava servise platforme svojim uređajima i području primjene
- Korisnici ne kontroliraju OS, bazu podataka, servise platforme, već je samo prilagođavaju svojim potrebama (definiraju konfiguracijske parametre okoline, opisuju uređaje, itd.)
- Brži i jednostavniji razvoj cjelovitih IoT-rješenja, pogodno za manje timove jer se bave konkretnim slučajem uporabe, umrežavanjem uređaja i razvojem korisničkih aplikacija
- Primjeri komercijalnih IoT-platформи u računalnom oblaku:
 - Amazon AWS IoT, MS Azure IoT, Google Cloud IoT, ...

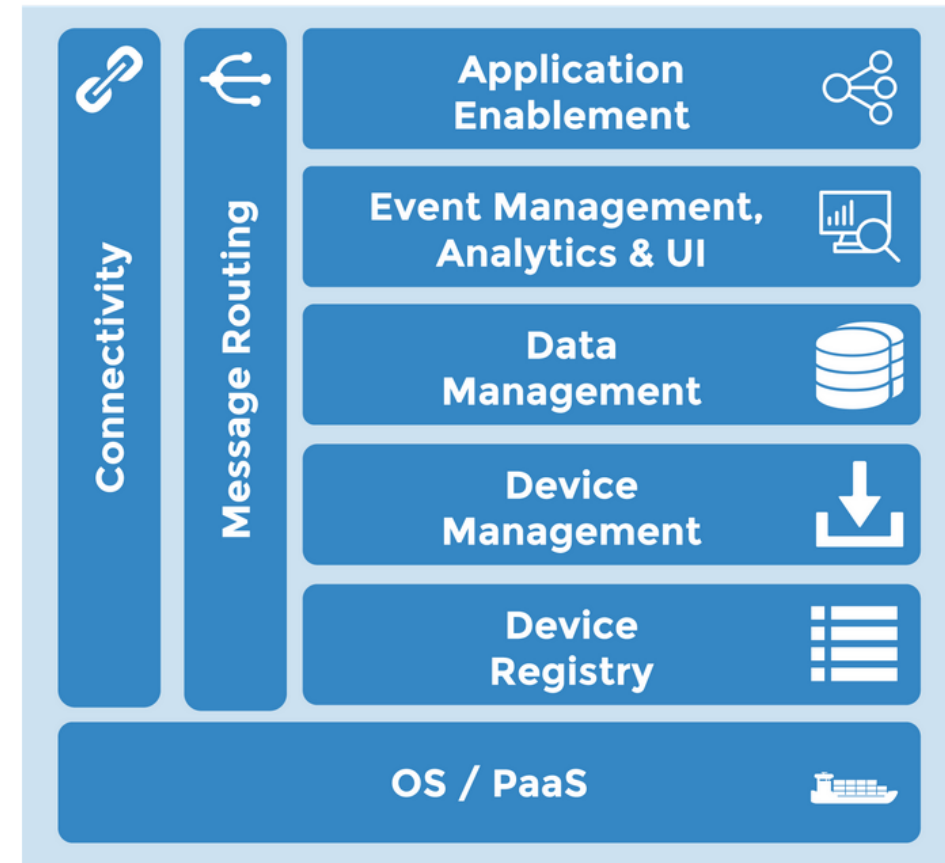
SW Stack for IoT Cloud Platforms (1/2)

Eclipse Software Stacks for IoT Architectures

Prema: Eclipse.org whitepaper [1]

Nužne komponente/funkcionalnosti IoT-platforme u računalnom oblaku

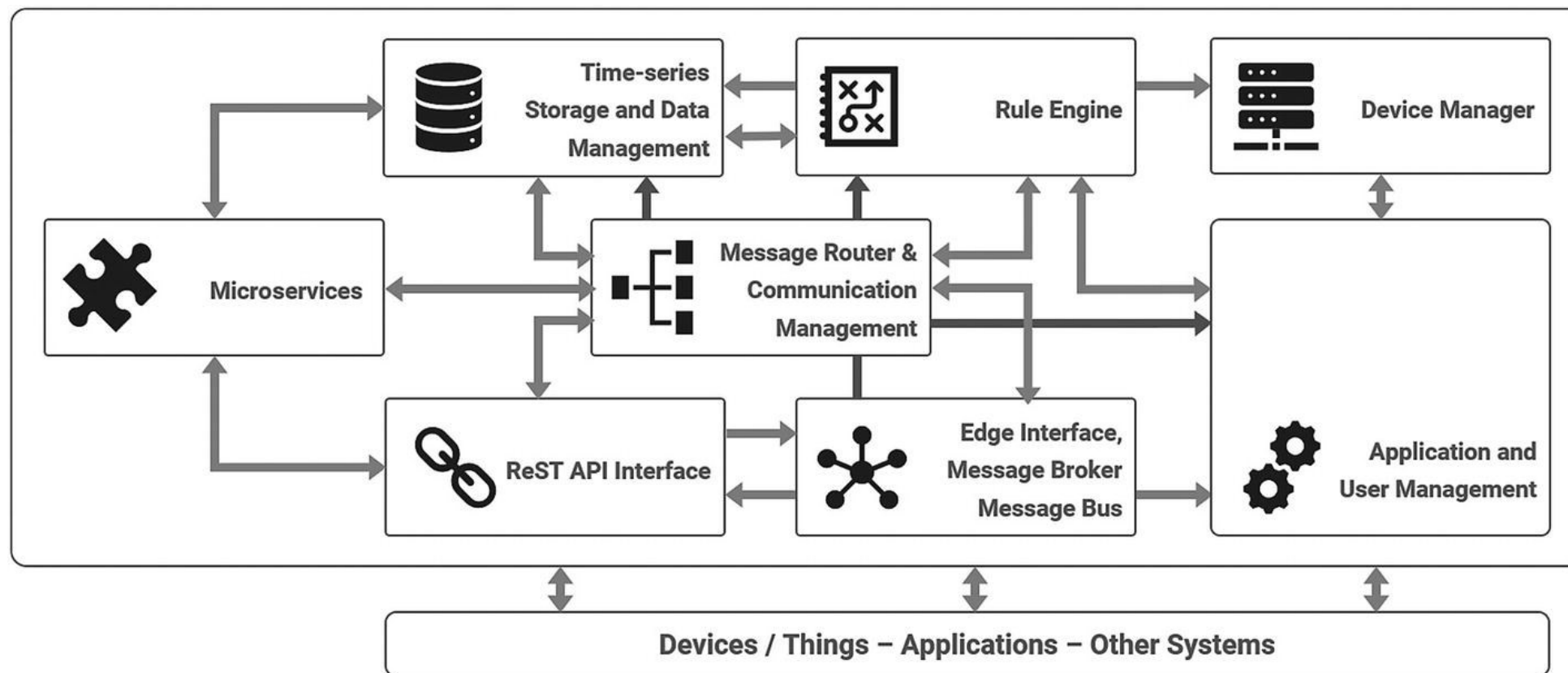
- Connectivity and Message Routing
- Device Management and Device Registry
- Data Management and Storage
- Event Management, Analytics & UI
- Application Enablement



SW Stack for IoT Cloud Platforms (2/2)

- **Connectivity and Message Routing** – IoT-platforme trebaju biti u mogućnosti komunicirati s vrlo velikim brojem uređaja i mrežnih prilaza koristeći različite protokole (na sloju podatkovne poveznice i aplikacijskom sloju) i formate podataka, ali zatim je podatke potrebno normalizirati kako bi se omogućila jednostavnija integracija.
- **Device Registry** – središnji registar za identifikaciju uređaja/prilaza koji čine IoT-rješenje.
- **Device Management** – omogućuje upravljanja uređajima, održava podatke o uređajima (metapodaci) i nudi uslugu ažuriranja softvera (firmware).
- **Data Management and Storage** – skalabilna pohrana podataka o uređajima (metapodaci) i s uređaja (telemetrijskih podataka, stanje uređaja) koja podržava količinu i raznolikost IoT-podataka.
- **Event Management, Analytics & UI** – mogućnosti skalabilne obrade događaja, sposobnost analize podataka te izrade izvješća, grafikona i tzv. kontrolnih ploča (*dashboard*).
- **Application Enablement** – korištenje API-ja za izradu i integraciju korisničkih aplikacija (mobilnih i web) za interakciju s uređajima i vizualizaciju podataka.

Blok-dijagram IoT-platforme



Primjer prema: Tamboli, A. (2019). The Building Blocks of an IoT Solution. In: Build Your Own IoT Platform. Apress, Berkeley, CA. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4498-2_2

Osnovne komponente IoT-platforme

- **Edge Interface, Message Broker, and Message Bus**

- Odvaja ostale servise platforme od uređaja („fizičkog svijeta”)
- Omogućuje interakciju s uređajima, senzorima i aktuatorima
- Podržava različite protokole (Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN, NB-IoT), obično je posebna komponenta zadužena za svaki protokol
- *Message Broker* – koristi MQTT/CoAP, unificira podatke i šalje ih na zajedničku sabirnicu poruka (*Message Bus*)

- **Message Router & Communication Management**

- Konverzija formata poruka jer poruke u izvornom ili komprimiranom formatu stižu s uređaja
- „Obogaćivanje” poruka: dodavanje dodatnih oznaka i konteksta porukama (podatke želimo zapisati u skladu s definiranim podatkovnim modelom)

Osnovne komponente IoT-platforme

- **Time-Series Storage & Data Management**

- Baza podataka: pohrana podataka, često se podaci sa senzora zapisuju u formatu vremenskih serija (*time-series data*) – povezuje parametar s vremenskom oznakom

- **Rule Engine**

- Komponenta koja prati poruke na sabirnici poruka i događaje u sustavu te temeljem skupa definiranih pravila izvodi određene akcije
- Može se koristiti i iza „obogaćivanje” poruka

- **REST API Interface**

- Za korisničke aplikacije koje pristupaju senzorskim podacima ili stanju aktuatora
- Korisno za usluge koje trebaju „klasični” pristup podacima zahtjev-odgovor

Osnovne komponente IoT-platforme

- **Device Manager**

- Upravlja uređajima, registar uređaja, pregled njihovog stanja (baterija, mreža, vlasnik, lokacija, verzija softvera)

- **Application and User Management**

- Upravljanje korisnicima i njihovim pravima pristupa podacima s uređaja, interakcija i komunikacija s mobilnim aplikacijama, web-aplikacije

- **Microservices**

- Pomoćne usluge, npr. text messaging, email notifications, verifications, social media authentications

Najpoznatije Cloud-platforme

Komercijalne

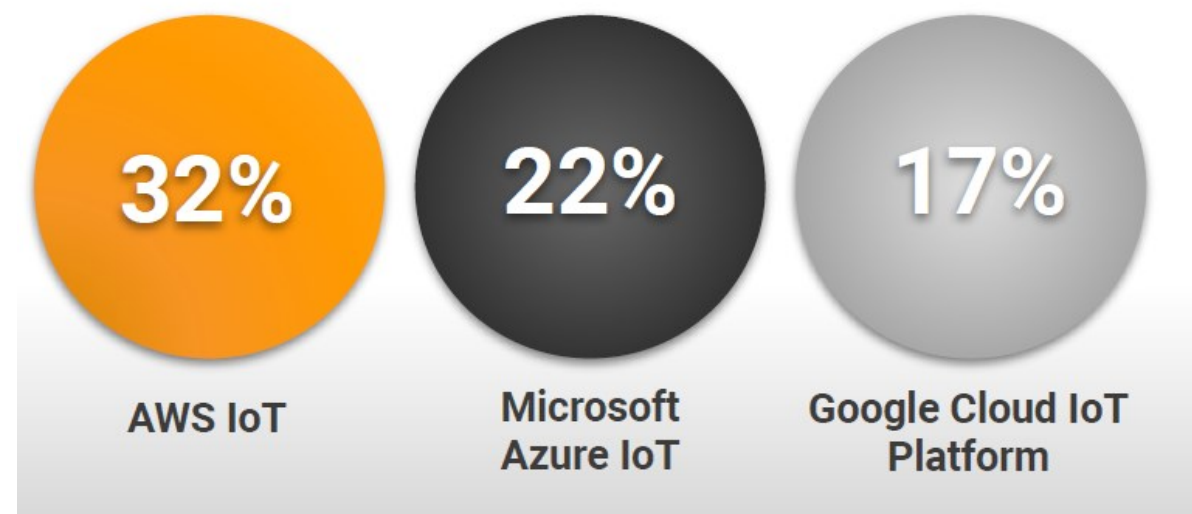
- Amazon AWS IoT: <https://aws.amazon.com/iot/>
- Microsoft Azure IoT: <https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/iot/#overview>
- Google IoT cloud: <https://cloud.google.com/solutions/iot>
- Cumulocity: <https://www.softwareag.cloud/site/product/cumulocity-iot.html#/>
- Bosch IoT Suite: <https://www.bosch-iot-suite.com/>
- IBM Watson IoT Platform: <https://www.ibm.com/cloud/watson-iot-platform>
- Ericsson Nikola Tesla: IoT Data Jedi

Otvorenog kôda

- ThingsBoard: <https://thingsboard.io/docs/>
 - ThingSpeak: <https://thingspeak.com/>
(IoT Analytics, MathWorks)
 - Kaa: <https://www.kaaproject.org/>
 - Eclipse Kapua: <https://www.eclipse.org/kapua/>
 - Eclipse Hono: <https://www.eclipse.org/hono/>
- } postoji i komercijalna verzija

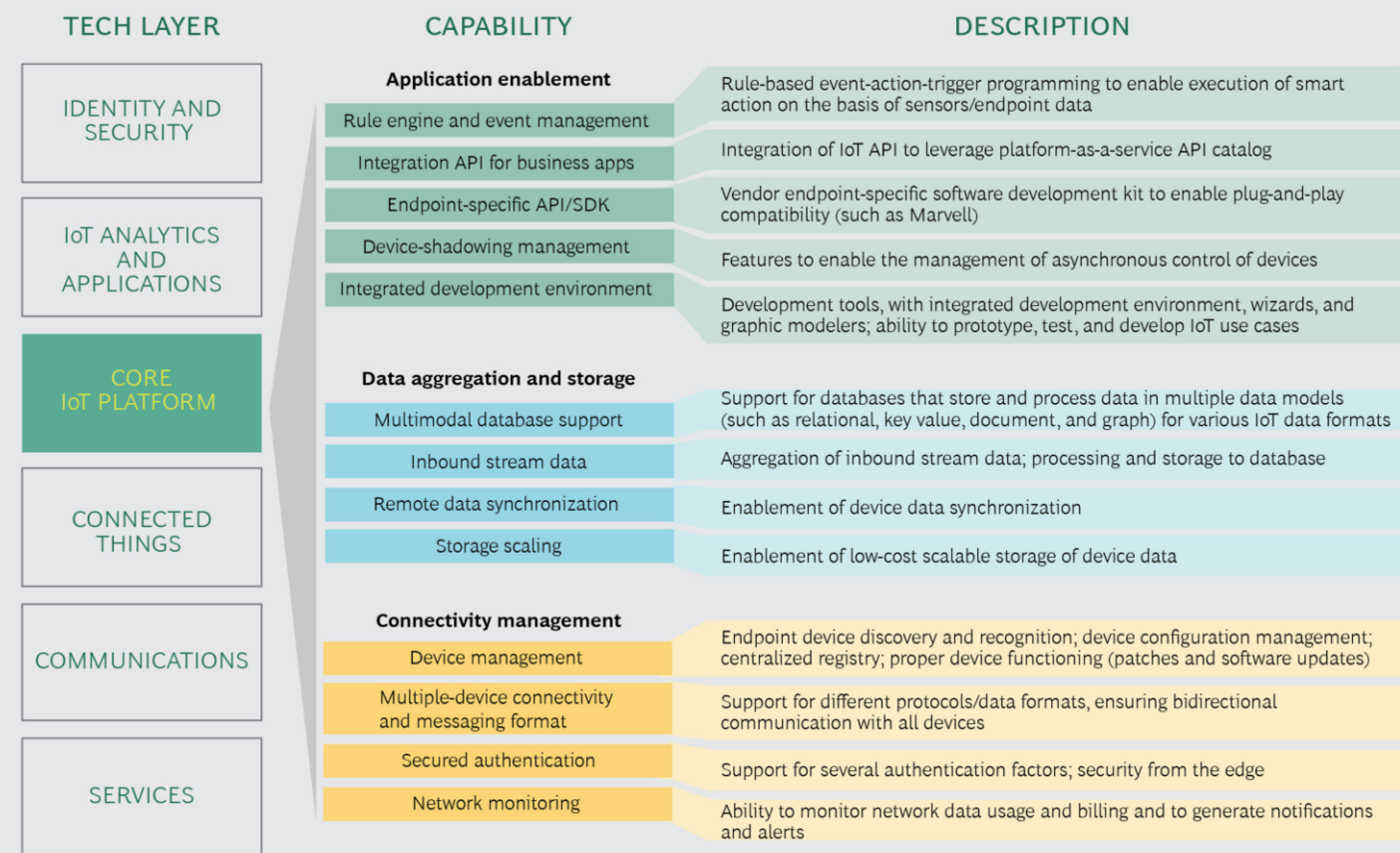
Najzastupljenije platforme u 2022.

- Prema istraživanju Eclipse-a iz 2022:
- **Najpopularnije platforme su AWS IoT (32%, pad od -5% u odnosu na 2021), Microsoft Azure IoT (22%, -5%) i Google Cloud IoT (17%, -5%)**
- **Google Cloud IoT Core se povlači iz upotrebe 16. kolovoza 2023.**
- **Porast uporabe ostalih platformi:** Bosch IoT suite (11%), IBM Watson IoT platform (10%), Cumulocity (10%)
- Povećana diverzifikacija tržišta, tržište je i dalje relativno mlado i kompetitivno
- Izvor: Eclipse Foundation, IoT & Edge Developer Survey Report, Sept. 2022.



Nužne funkcionalnosti IoT platformi

EXHIBIT 1 | A Complete Core IoT Platform Addresses Three Main Capabilities



Source: BCG analysis.

Notes: API = application programming interface; SDK = software development kit.

- Prema *Boston Consulting Group*, samo 14% analiziranih platformi nude sve navedene nužne funkcionalnosti
 - 86% barem jednu od navedenih
- Na tržištu ne postoje dominantne platforme s velikim brojem korisnika uz kontinuirani rast

Izvor: Akash Bhatia, Zia Yusuf, David Ritter, and Nicolas Hunke. [Who Will Win the IoT Platform Wars?](#)
29.10.2017.

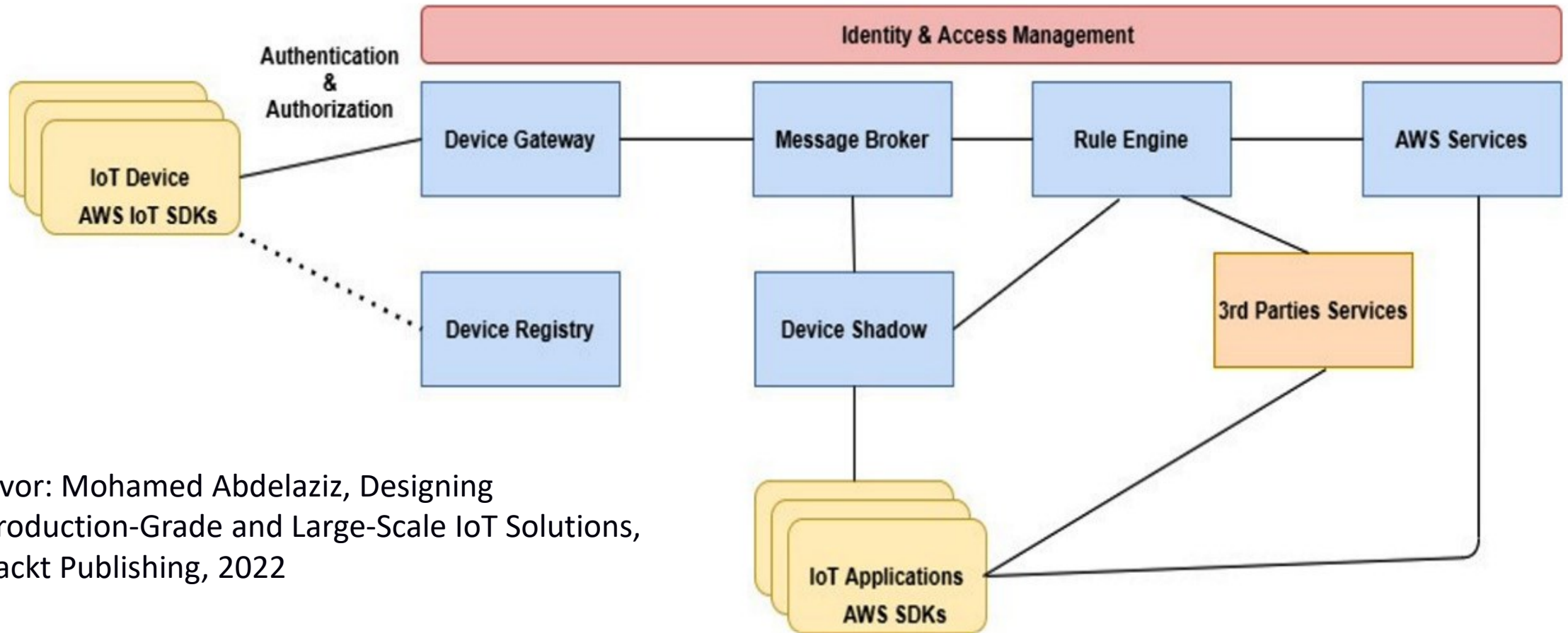
Amazon AWS IoT

- komercijalna platforma koju razvija i nudi poduzeće Amazon
- omogućuje sigurnu, dvosmjernu komunikaciju između IoT-uređaja i AWS oblaka
- nudi niz alata za obradu podataka prikupljenih s umreženih uređaja u računalnom oblaku
- nudi REST API: upravljačko sučelje i provjera stanja spojenih uređaja
- integracija s ostalim Amazonovim cloud servisima

Pregled AWS servisa i alata za IoT:

<https://www.youtube.com/watch?v=WAp6FHbhYCK&t=47s>

AWS IoT Core: Arhitektura



Izvor: Mohamed Abdelaziz, Designing
Production-Grade and Large-Scale IoT Solutions,
Packt Publishing, 2022

Amazon AWS IoT

- **Device SDK:** used to connect hardware device or mobile application to AWS IoT Core
- **Device Gateway:** the entry point for IoT devices connecting to AWS IoT Core, provides bi-directional secure communication (MQTT, WebSocket, and HTTP 1.1); fully managed and scalable gateway that supports over a billion devices and messages.
- **Message Broker:** high throughput pub/sub message broker (MQTT) that securely transmits messages to and from other components (IoT devices, applications, services).
- **Device Registry:** manages all the IoT device administration. You can register and configure your IoT devices, including configuring certificates and IoT device IDs.
- **Device Shadows:** refers to a device description that has functionalities to keep the current state information for a specific device in a JSON document. **(Virtualni entitet, sadrži informaciju o trenutnom poznatom stanju uređaja i željenom stanju uređaja! Korisnička aplikacija komunicira s virtualnim entitetom, ne sa stvarnim uređajem.)**
- **Rules Engine:** provides message processing and integration with other AWS services; the glue between the physical world and the cloud world. IoT data generated by devices is sent to the IoT Core message broker, and then it is the responsibility of the rule engine to move that data out from the message broker to the right destination in the cloud for further processing.

<https://aws.amazon.com/iot-core/features/>

Sučelja i protokoli na platformi AWS IoT

Podatkovno sučelje dopušta slanje/primanje podataka s uređaja

Podržani protokoli:

- MQTT (Message Queuing and Telemetry Transport)
- MQTT over WSS (Websockets Secure)
- HTTPS
- LoRaWAN (novost!)

Getting Started with AWS IoT

<https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/iot-gs.html>

Upravljačko sučelje za Device Shadow (REST) - kreiranje i ažuriranje „virtualnog entiteta” (reserved MQTT topics)

- Dohvaća kopiju virtualnog entiteta
 - HTTP GET
`https://endpoint/things/thingName/shadow`
- Ažurira kopiju
 - HTTP POST
`https://endpoint/things/thingName/shadow`
- Briše kopiju
 - HTTP DELETE
`https://endpoint/things/thingName/shadow`

Upravljanje uređajima

- Koristi se upravljački API, a podaci zapisuju u registar
- Primjer metapodataka koji opisuju uređaj

```
{
  "version": 3,
  "thingName": "MyLightBulb",
  "thingId": "12345678abcdefgh12345678ijklmnop12345678"
  "defaultClientId": "MyLightBulb",
  "thingTypeName": "StopLight",
  "attributes": {
    "model": "123",
    "wattage": "75"
  }
}
```

- Registar nudi sljedeće mogućnosti:
 - Stvaranje uređaja
 - Pregled liste uređaja
 - Pretraživanje uređaja
 - Ažuriranje uređaja
 - Brisanje uređaja
 - Dodavanje pravila za uređaje
 - Brisanje pravila za uređaje
 - Postoji thing type

Detaljnije:
<https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/thing-registry.html>

Održavanje podataka o uređaju

- **Device Shadow Service:** koristi JSON dokument za spremanje opisa i trenutnog stanja uređaja
 - razlikuje dva stanja: zahtijevano (*desired*) i izviješteno (*reported*).
 - za dohvat ili mijenjanje stanja može se koristiti MQTT ili HTTP

<https://docs.aws.amazon.com/iot/latest/developerguide/iot-device-shadows.html>

```
{
  "state" : {
    "desired" : {
      "color" : "RED",
      "sequence" : [ "RED", "GREEN", "BLUE" ]
    },
    "reported" : {
      "color" : "GREEN"
    }
  },
  "metadata" : {
    "desired" : {
      "color" : {
        "timestamp" : 12345
      },
      "sequence" : {
        "timestamp" : 12345
      }
    },
    "reported" : {
      "color" : {
        "timestamp" : 12345
      }
    }
  }
  ...
}
```

Primjer
opisa za
„shadow”
uređaja

Promjena podataka o uređaju

- Za promjenu podataka se može koristiti MQTT (na temu /update) ili REST API
- primjer tijela poruke koji se šalje prilikom zahtjeva za ažuriranjem stanja

```
{
  "state": {
    "desired" : {
      "color" : { "r" : 10 },
      "engine" : "ON"
    }
  }
}
```

- MQTT: zahtjev za promjenom se šalje na temu
\$aws/things/thingName/shadow/update
- AWS IoT odgovara slanjem poruke na jednu od 2 teme
\$aws/things/thingName/shadow/update/accepted
\$aws/things/thingName/shadow/update/rejected
- HTTP
 - Koristi se POST zahtjev na device URI, a pravilnik mora dozvoljavati provedbu promjene (autorizacija)

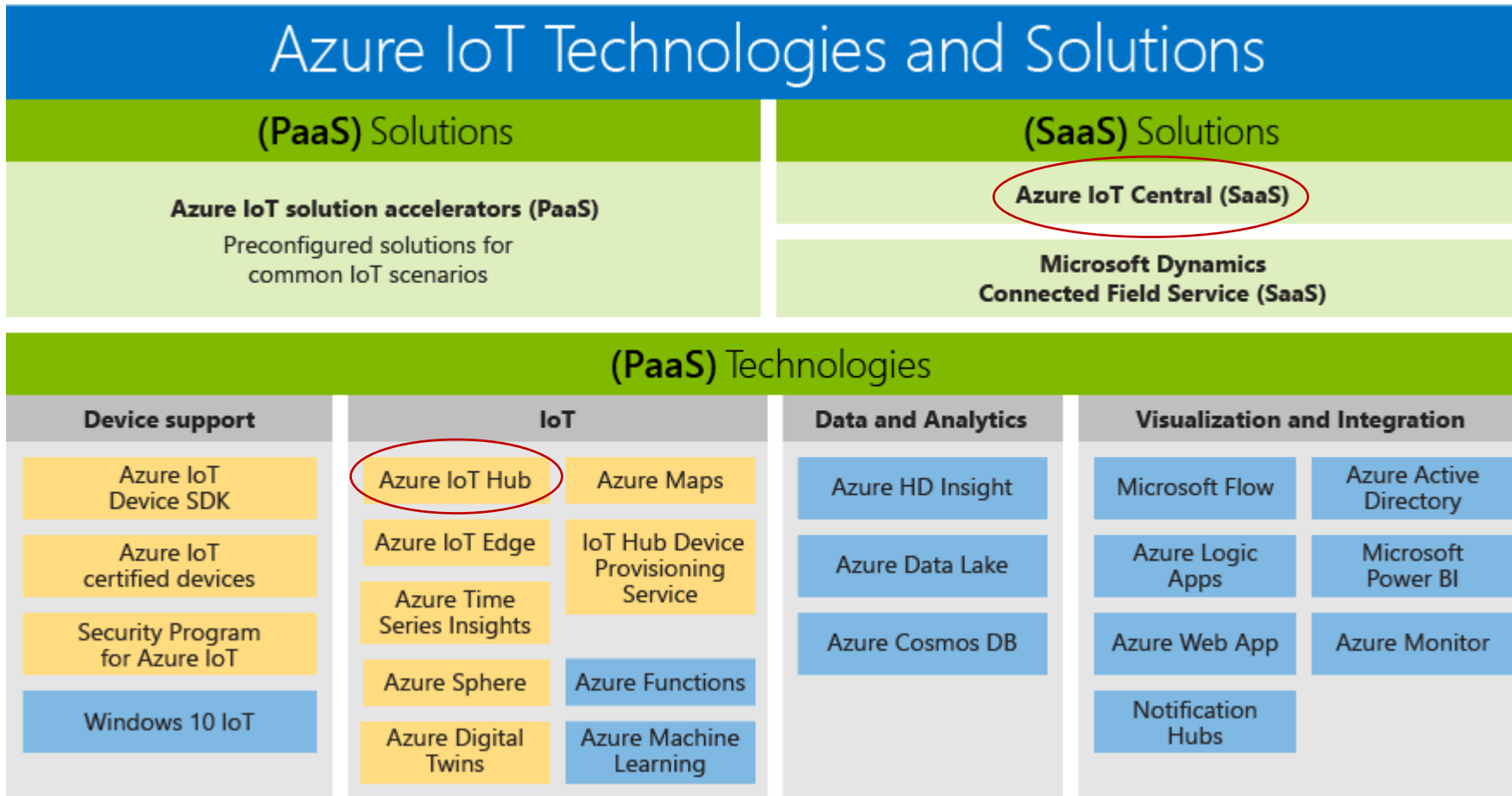
Sigurnost

- **Autentifikacija:** svaki spojeni uređaj mora koristiti certifikat za pristup *message brokeru*
- Sav promet sa i prema AWS IoT-u mora biti šifriran pomoću protokola *Transport Layer Security*, TLS
- Upravljački API dopušta izvođenje administrativnih zadataka kao što su kreiranje ili ažuriranje certifikata, pravila, itd.

Autorizacija:

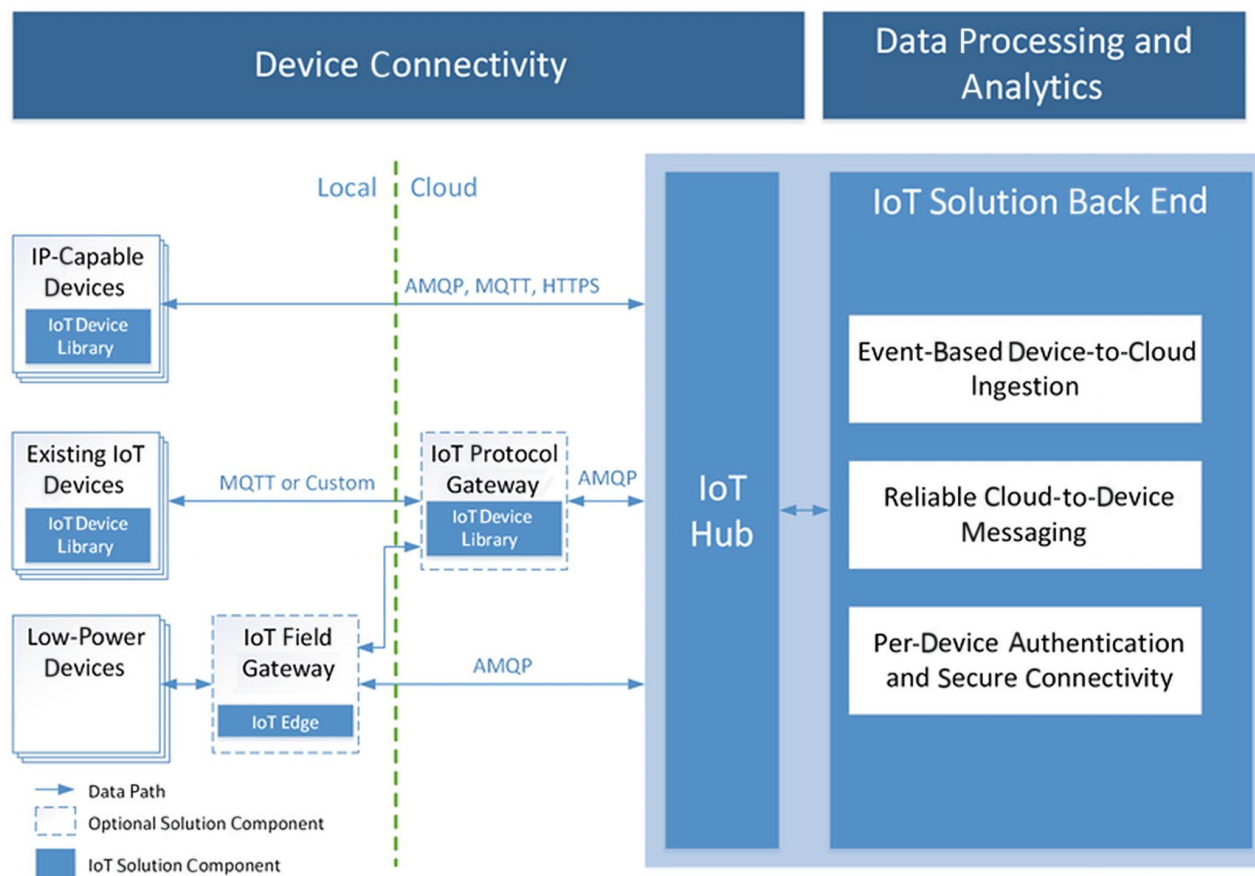
- autentificirani identitet će izvršiti AWS IoT operaciju samo ako ima pravilnik (*policy*) koji mu to dopušta
- Pravilnik definira što autentificirani identitet (npr. uređaj, mobilna ili web aplikacija) smije napraviti
- AWS IoT pravilnici dodaju se X.509 certifikatima ili Amazon Cognito Federated identitetima

Azure Internet of Things



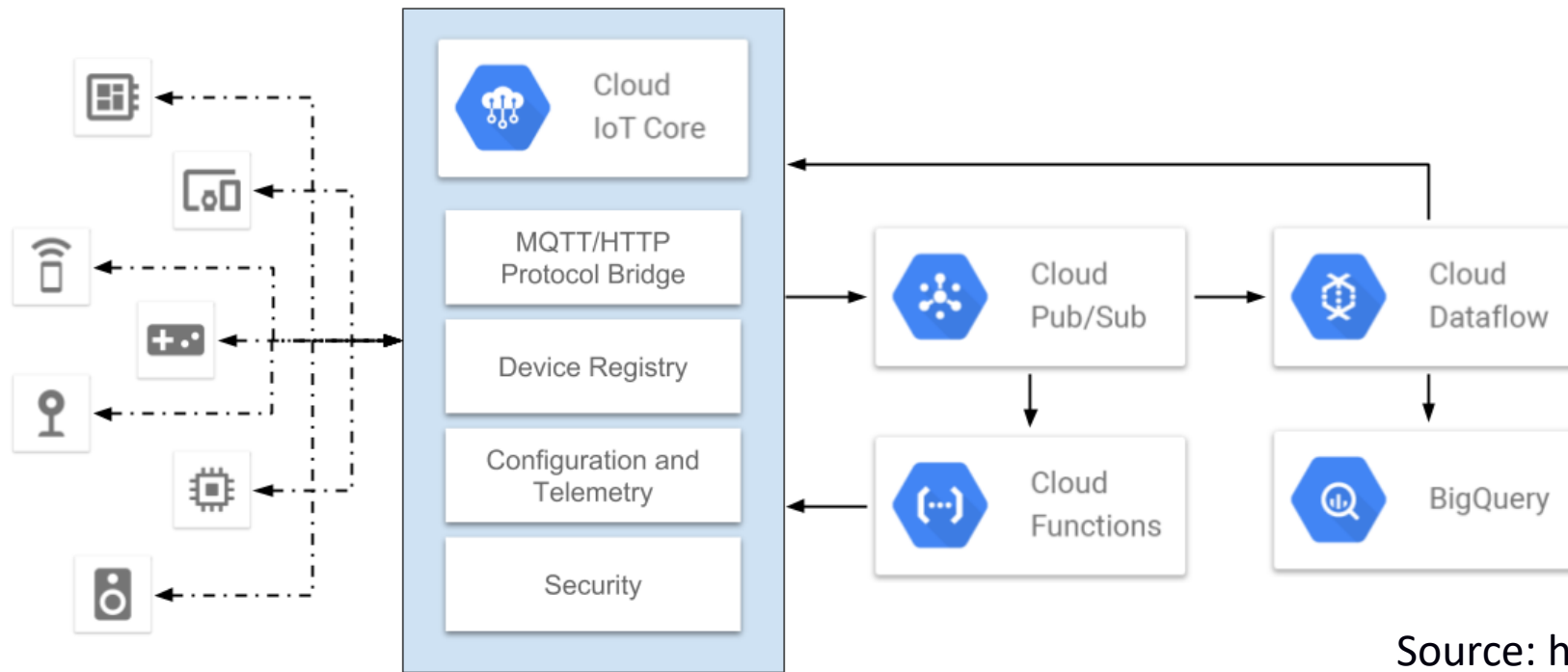
- a collection of Microsoft-managed cloud services that connect, monitor, and control billions of IoT assets.
- <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/iot-fundamentals/iot-introduction>

Azure IoT Hub



- IoT Hub provides *device SDKs* for C, Python, Node.js, Java, and .NET.
- IoT Hub natively understands only three protocols—MQTT, AMQP, and HTTPS
- It is part of IoT Central: a SaaS solution that helps you connect, monitor, and manage your IoT devices.

Google Cloud IoT



Cloud IoT Core: The device hub to receive data and manage devices

Cloud Pub/Sub: A publisher/subscriber service to consume data

Cloud Dataflow or Cloud Functions: These are used to process data for conversion, digital twins, and diagnosis

Cloud BigQuery: This is used for data storage and querying the BigTable

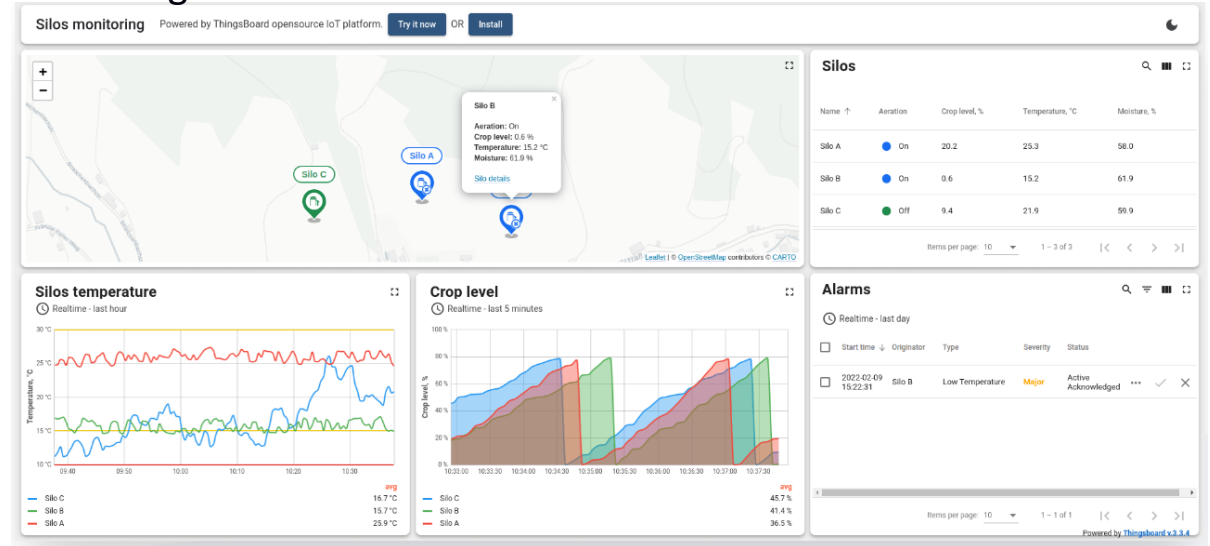
Source: <https://cloud.google.com/iot-core/>

- <https://cloud.google.com/solutions/iot-overview>

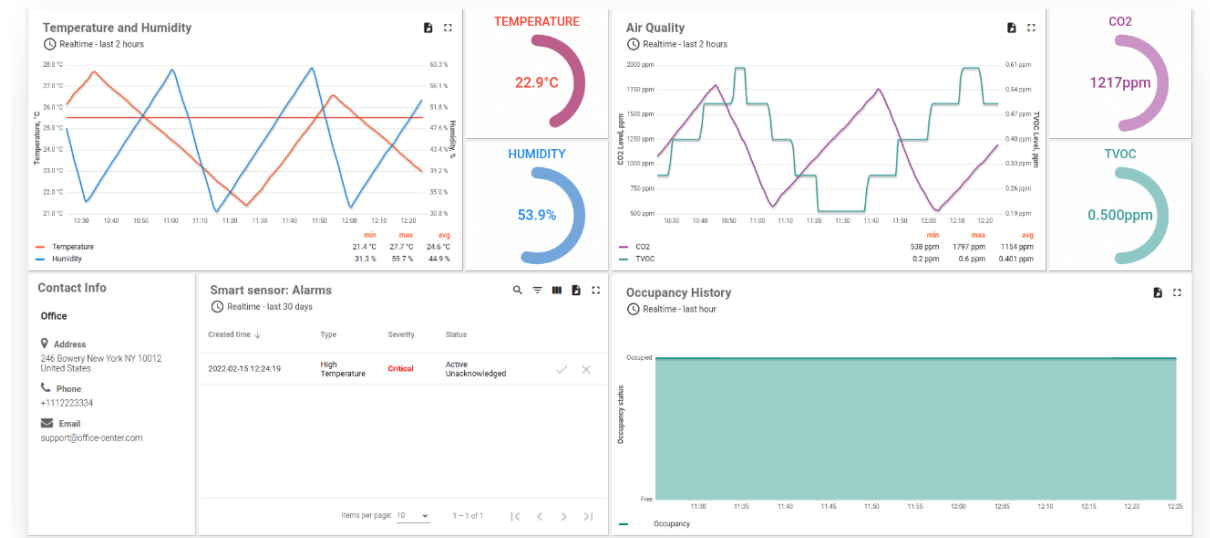
ThingsBoard

- IoT-platforma otvorenog kôda, mikroservisna arhitektura
- omogućuje upravljanje raznim uređajima i prikupljenim podacima s tih uređaja
- Povezivanje i komunikaciju s krajnjim uređajima: HTTP, MQTT, i CoAP
- Podržava obradu i vizualni prikaz podataka, upravljanje uređajima
- IoT Rule Engine
- <https://thingsboard.io/>

Smart Agriculture

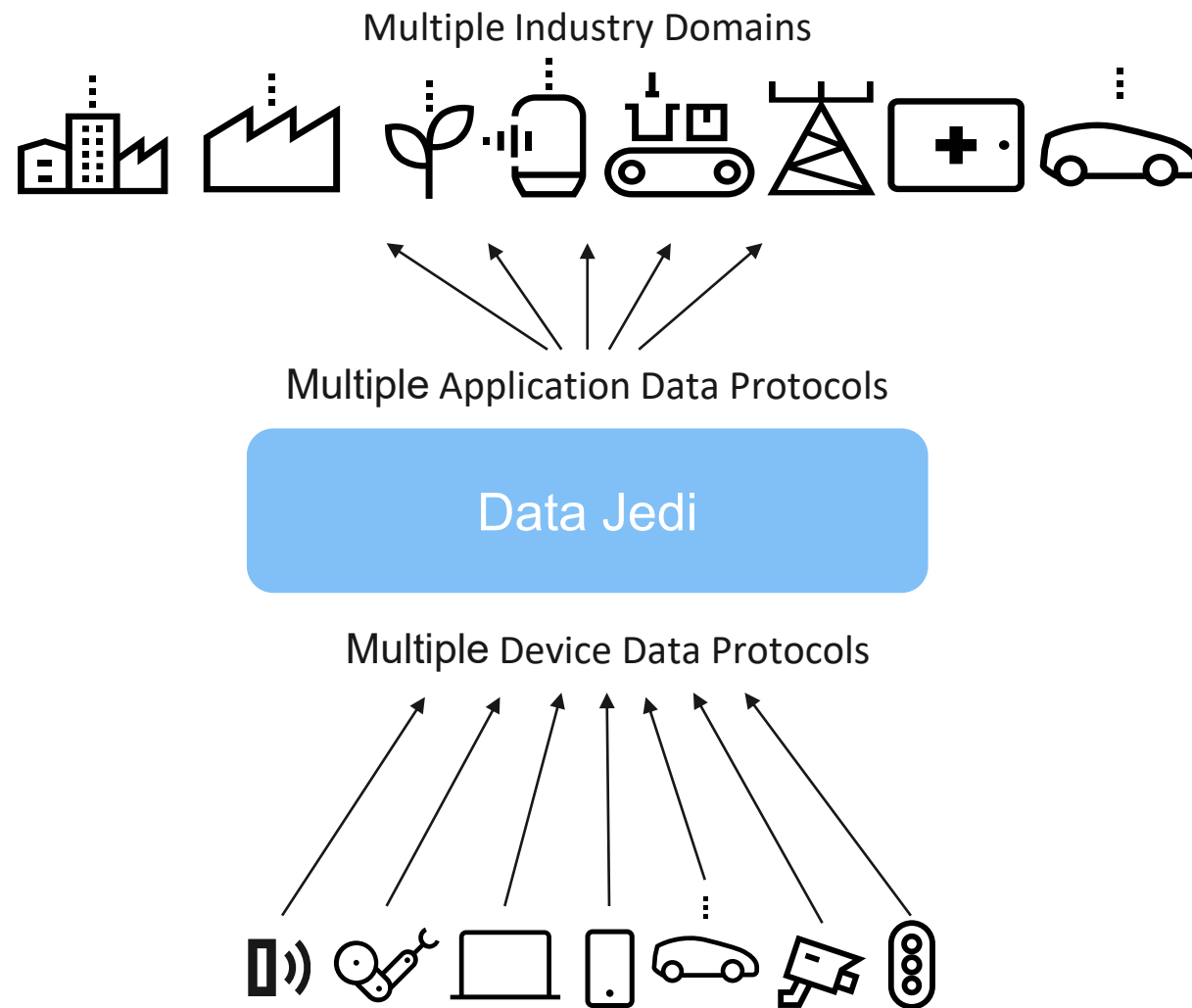


Smart Office

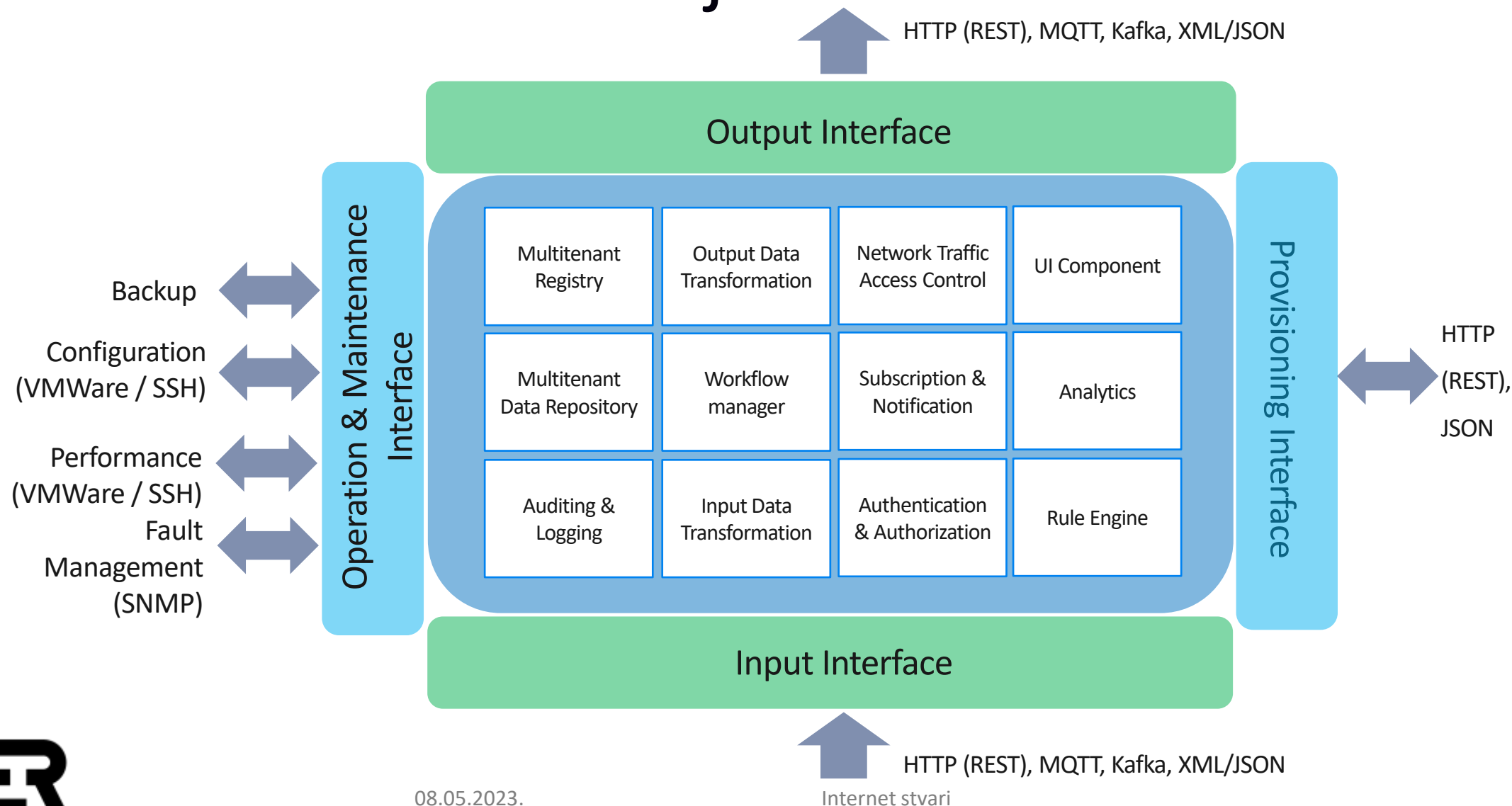


IoT Data Jedi

- IoT-platforma razvijena u kompaniji Ericsson Nikola Tesla
- Transformacija, pohrana i usmjeravanje podataka prikupljenih s različitih IoT-uređaja
- Transformacija i usmjeravanje poruka poslanih iz korisničkih aplikacija na bilo koji IoT uređaj, sustav, korisnika ili aplikaciju
- Zaštita IoT-uređaja i podataka od neovlaštenog pristupa



IoT Data Jedi – funkcijski blokovi



Literatura

- Eclipse.org whitepaper: **The Three Software Stacks Required for IoT Architectures**, Eclipse IoT Working Group, December 2017
- Guth J. et al. (2018) A Detailed Analysis of IoT Platform Architectures: Concepts, Similarities, and Differences. <https://www.iaas.uni-stuttgart.de/publications/INBOOK-2018-01-A-Detailed-Analysis-of-IoT-Platform-Architectures-Concepts-Similarities-and-Differences.pdf>
- Pregled svih AWS servisa za IoT: <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/aws-overview/internet-of-things-services.html>
- Orečić, Igor. **Primjena platforme AWS IoT za razvoj usluga u području Interneta stvari** / završni rad - preddiplomski studij. Zagreb : Fakultet elektrotehnike i računarstva, 10.07. 2017, 28 str. Voditelj: Podnar Žarko, Ivana.